

The background of the slide is a scenic photograph of a mountain range. In the foreground, a calm lake reflects the surrounding landscape. A dense forest of evergreen trees covers the slopes leading down to the water. In the background, several sharp, rocky mountain peaks rise against a sky filled with soft, white clouds. The overall color palette is dominated by blues, greens, and greys, creating a serene and naturalistic atmosphere.

Università degli Studi “Roma Tre”

Dipartimento di Scienze

Corso di Laurea in Scienze Geologiche

MODULO DIDATTICO

**Indagini ambientali e bonifiche
delle aree contaminate**

Elementi di base

ROBERTO CECCARINI

GEOLOGIA

IDROGEOLOGIA

GEOFISICA

GEOCHIMICA

MINERALOGIA

PETROGRAFIA

GEOMORFOLOGIA

GEOTECNICA

RILIEVO/INDAGINE DI CAMPO

MODELLIZZAZIONE

PIANIFICAZIONE/PROGETTAZIONE

**ESISTE UN CAMPO DI STUDI /LAVORO
CHE CONSENTE DI APPLICARE ED
APPROFONDIRE GLI INSEGNAMENTI
FONDAMENTALI DEL CORSO DI LAUREA
IN SCIENZE GEOLOGICHE?**





....Sì

**LO STUDIO E LA PIANIFICAZIONE PER IL
RECUPERO AMBIENTALE DI SUOLO E
SOTTOSUOLO (SATURO ED INSATURO)
IN AREE CONTAMINATE O
POTENZIALMENTE TALI**







COSA SI INDICA CON IL TERMINE “AREA CONTAMINATA”?

**UN SITO NEL QUALE UNO O PIÙ VALORI
DI CONCENTRAZIONE DELLE SOSTANZE
INQUINANTI RILEVATE NELLE MATRICI
AMBIENTALI (SUOLO, SOTTOSUOLO E
ACQUE SOTTERRANEE) RISULTANO
SUPERIORI AI VALORI NORMATIVI DI
RIFERIMENTO**

COME POSSO DEFINIRE LO STATO QUALITATIVO DI UN'AREA?

**I PASSI DA EFFETTUARE SONO NORMATI
ED ESPLICITATI NEL TITOLO V DELLA
PARTE QUARTA DEL D.Lgs. n. 152 del
2006 (“Testo Unico Ambientale”) e
ss.m m.ii.**

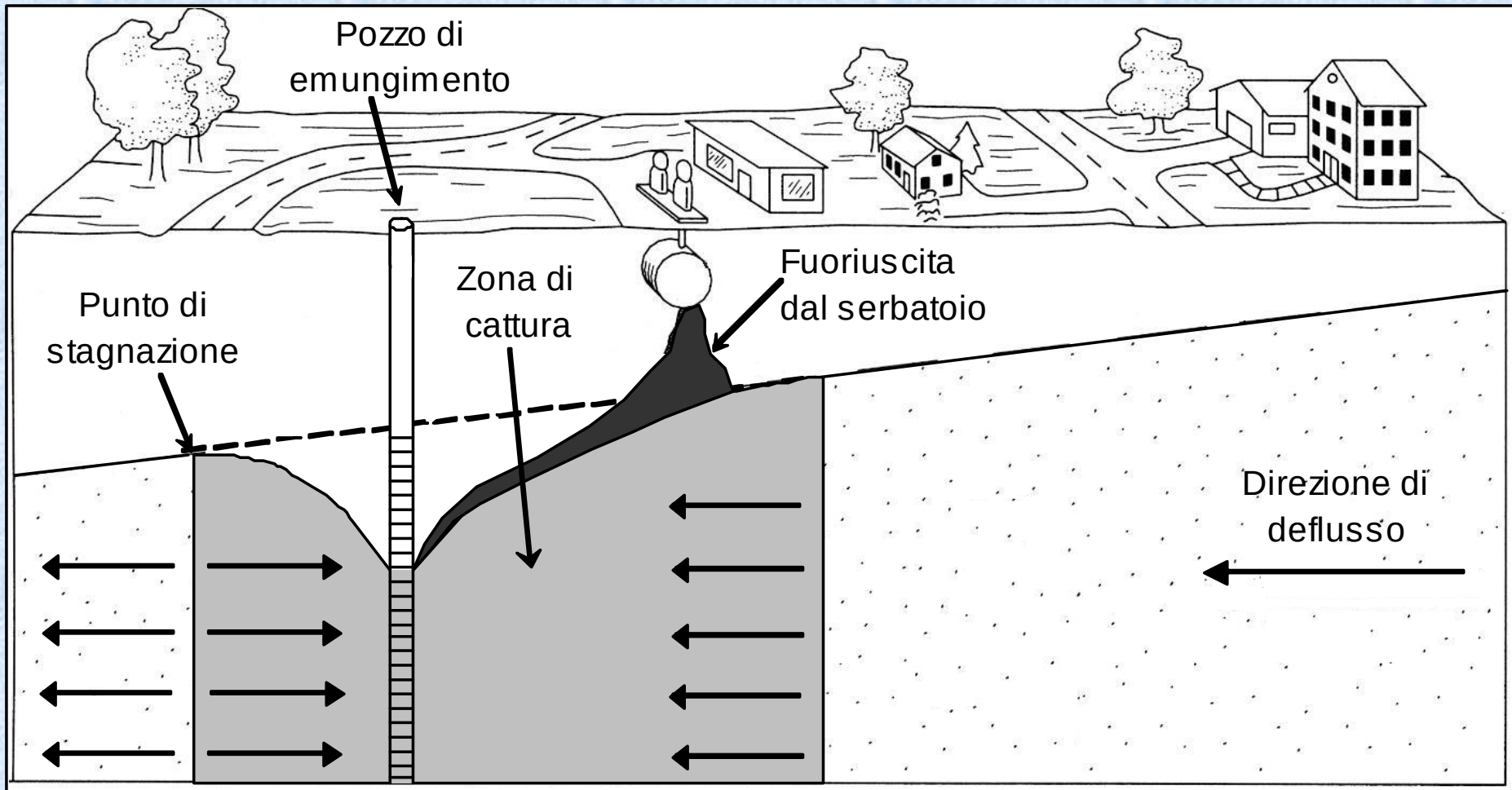
COME SI PROCEDE?

- 1. Messa in Sicurezza d’Emergenza – ”MISE” (se necessaria)**
- 2. Piano della Caratterizzazione – “PdC”:**
 - caratterizzazione del sottosuolo
 - caratterizzazione dei contaminanti
 - Modello concettuale della contaminazione
- 3. Analisi di rischio – ”AdR”**
- 4. Progetto (preliminare e definitivo) di Bonifica o Messa in Sicurezza Permanente**
 - obiettivi di bonifica
 - metodologie e tecniche di bonifica

MISE, COME SI PROCEDE?

- 1) Rimozione della sorgente primaria della contaminazione:**
 - Aspirazione liquami; asportazione dei terreni visibilmente contaminati; rimozione prodotti sversati o abbancati, ecc.
- 2) Isolamento della sorgente primaria dalle matrici ambientali circostanti (evitare la veicolazione verso l'esterno), p.e.:**
 - allontanamento delle acque meteoriche;
 - copertura del corpo inquinante con teli di idonee caratteristiche (resistenza meccanica e ad agenti chimici);
 - attivazione di sistemi di recupero delle acque sotterranee;
 - cattura dei prodotti in libero galleggiamento.
- 3) Limitare l'accesso all'area (delimitazione, divieto di accesso e pericolo).**
- 4) Comunicazione agli enti di controllo illustrante l'accaduto e le operazioni di MISE attivate.**

MISE, ESEMPIO?



PdC, PRATICAMENTE?

**Pianificazione ed esecuzione di
un'indagine ambientale, ovvero,
l'insieme di verifiche atte a valutare lo
stato di qualità delle matrici ambientali:
suolo, sottosuolo e, eventualmente,
acque sotterranee**

STRUTTURA DEL PdC

- 1. Raccolta e sistematizzazione dei dati esistenti**
- 2. Formulazione del Modello Concettuale Preliminare della contaminazione**
- 3. Piano di investigazione iniziale**

IL PdC

A. Definizione spaziale del Sito (contesto geografico, antropico e suo perimetro)

B. Definizione del contesto (da dati bibliografici o studi pregressi) per:

- **geologia (litologia, spessori, chimismo, assetto strutturale, ecc.)**
- **idrogeologia (numero e tipologia acquiferi, soggiacenza, spessori, deflusso, caratteristiche idrauliche)**
- **Geomorfologia (forme e fenomeni attivi).**

IL PdC

C. Descrizione dettagliata del sito e di tutte le attività che si sono svolte o che ancora si svolgono al suo interno e nelle aree circostanti (produzione, stoccaggi, monitoraggi delle matrici ambientali, indagini pregresse)

D. Descrizione delle principali caratteristiche dei contaminanti:

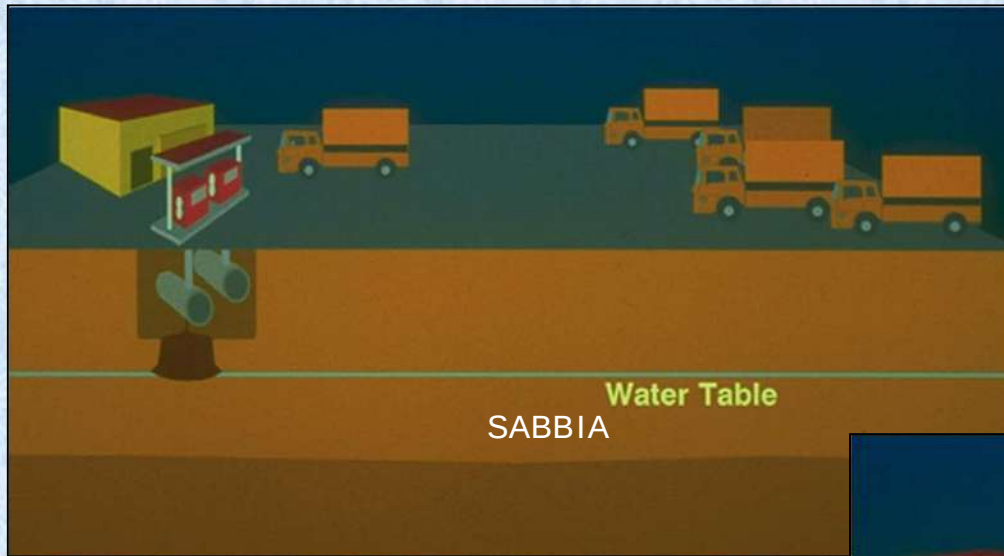
- **Stato fisico**
- **Condizioni chimico-fisiche**
- **Composizione chimica**

E' FONDAMENTALE CONOSCERE LE PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEI CONTAMINANTI

- **viscosità**: capacità della sostanza di penetrare in un mezzo poroso e quindi di raggiungere la superficie freatica.
- **volatilità**: caratterizza l'equilibrio tra fase liquida e fase vapore della sostanza (dipende dalla cost. di Henry di ogni sostanza)
 - *Volatile Organic Compounds (VOCs)*: BTEX, MTBE e alifatici alogenati (p. es. cloroformio).
- **solubilità**: grado di miscibilità in acqua
 - scarsamente poco o per nulla miscibili e definibili come *Non Aqueous Phase Liquids (NAPLs)*.
- **densità**:
 - minore dell'acqua (**LNAPLs**): benzine, gasolio, kerosene, BTEX, MTBE;
 - maggiore dell'acqua (**DNAPLs**): IPA, solventi clorurati (tricloroetilene, cloroformio, tetracloroetilene, ecc).

Esempio, caratteristiche dei contaminanti

Prodotti più leggeri dell'acqua (**LNAPLs**), densità $< 1 \text{ g/cm}^3$



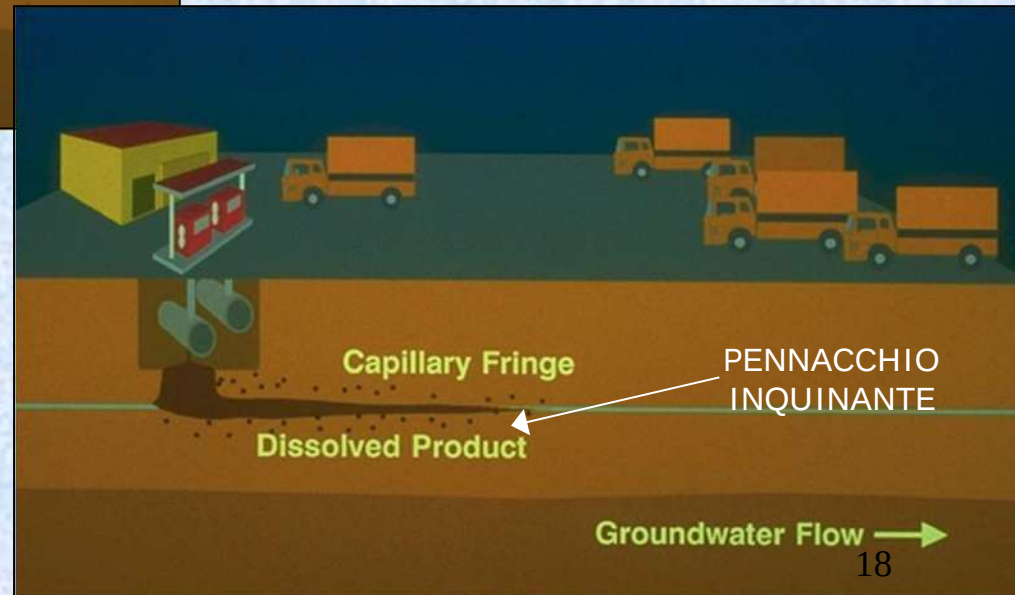
Fasi 1. e 2.

ARGILLA

1. allargamento zona di contaminazione;
2. distribuzione sopra frangia capillare continua (prodotto surnatante).

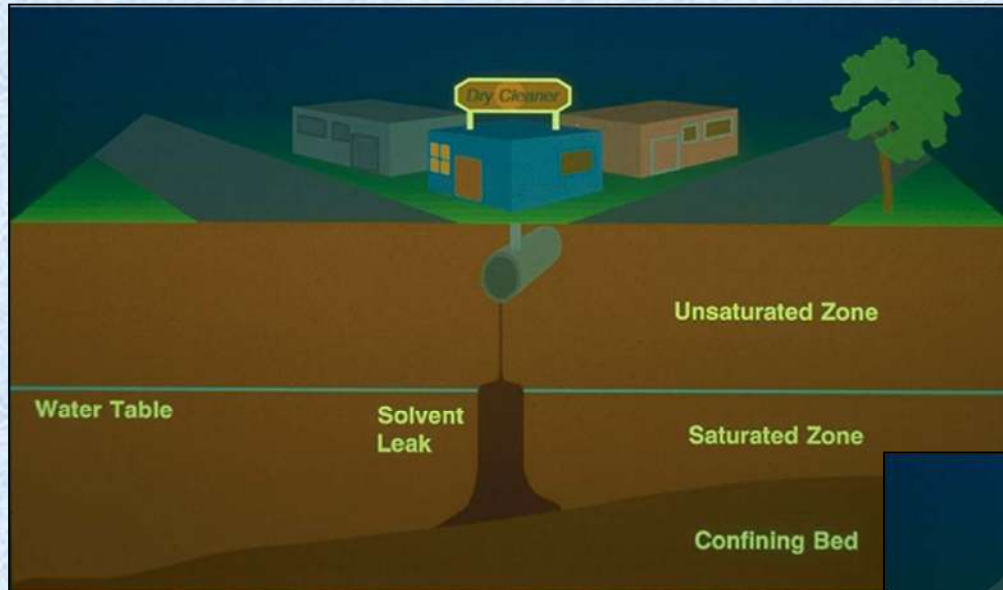
Fase 3.

3. presenza di alimentazione, aumento di spessore del surnatante, incurvatura della superficie piezometrica, trascinamento in direzione di deflusso della falda.



Esempio, caratteristiche dei contaminanti

Prodotti più pesanti dell'acqua (**DNAPLs**), densità $> 1 \text{ g/cm}^3$



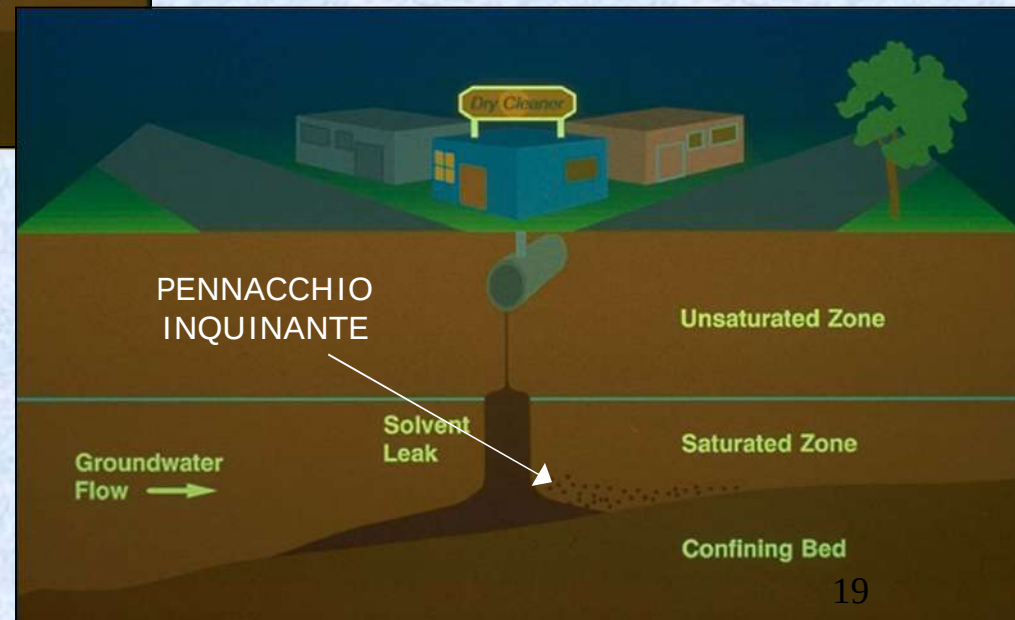
Fasi 1. e 2.

1. approfondimento del prodotto in falda;
2. il fluido affonda fino in prossimità di un livello a bassa permeabilità.



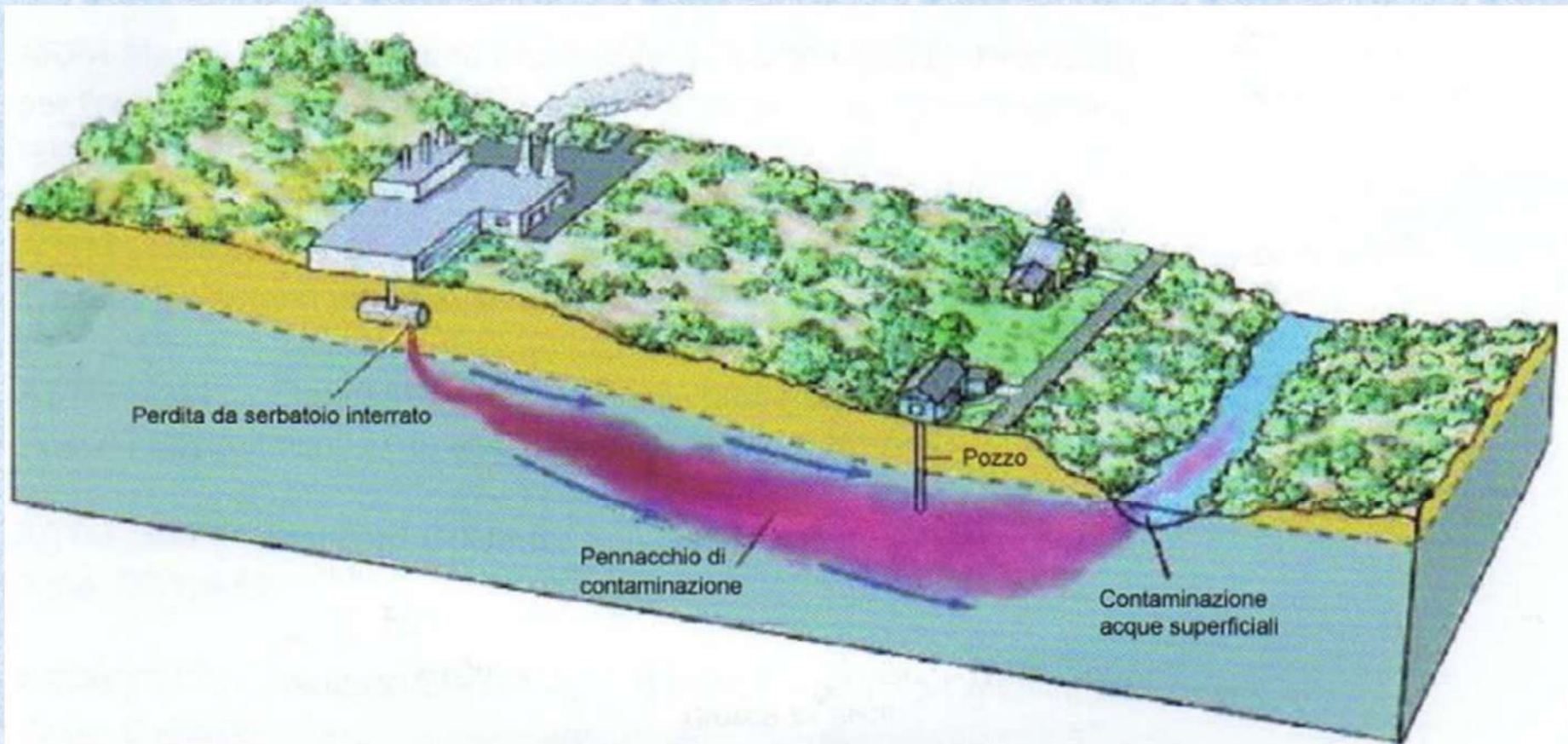
Fase 3.

3. movimento del fluido controllato dall'inclinazione del livello a bassa permeabilità; flusso possibile anche nel senso opposto alla pendenza.



Modello Concettuale preliminare descrive:

- **sorgenti**, possibilmente grado ed estensione della contaminazione del suolo, del sottosuolo, delle acque superficiali e sotterranee del sito;
- **percorsi di migrazione** dalle sorgenti di contaminazione ai bersagli ambientali e alla popolazione (acque sotterranee, superficiali, aria);
- le **vie di esposizione** (inalazione, ingestione, contatto dermico);
- i **bersagli** ambientali e la popolazione su cui possono manifestarsi gli effetti dell'inquinamento.



da manuale APAT 2006

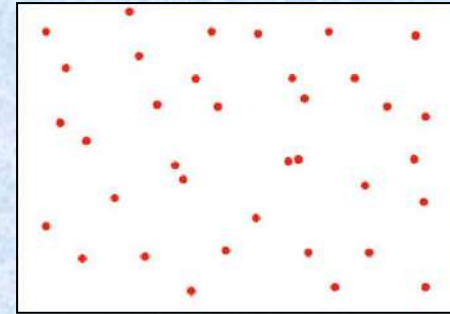
IL PdC, il Piano d'indagine

Criteri con cui procedere all'ubicazione dei punti di campionamento:

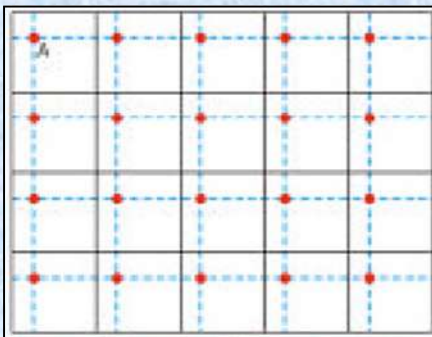
- **campionamento soggettivo, basato sul modello concettuale preliminare;**
- **campionamento casuale semplice;**
- **campionamento sistematico o su griglia regolare;**
- **campionamento a *cluster* adattativo;**
- **campionamento stratificato.**

IL PdC, il Piano d'indagine

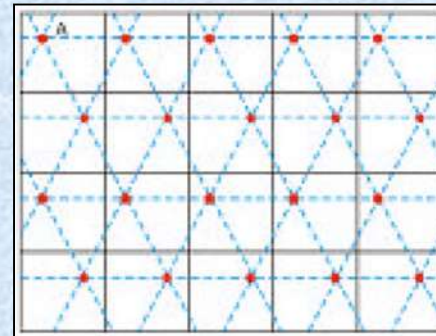
Campionamento casuale semplice



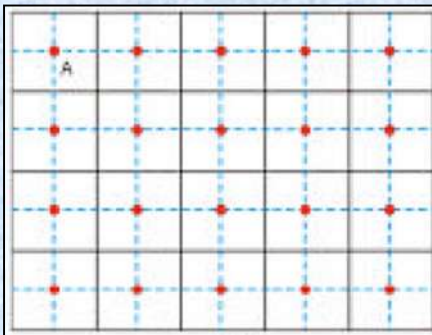
Campionamento sistematico



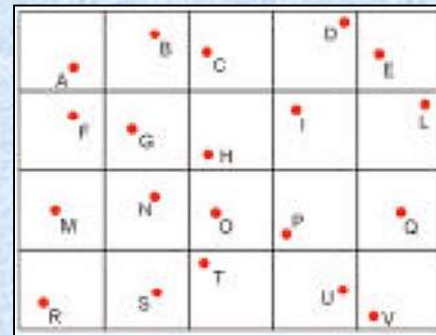
**griglia
quadrata
allineata**



**griglia
triangolare**

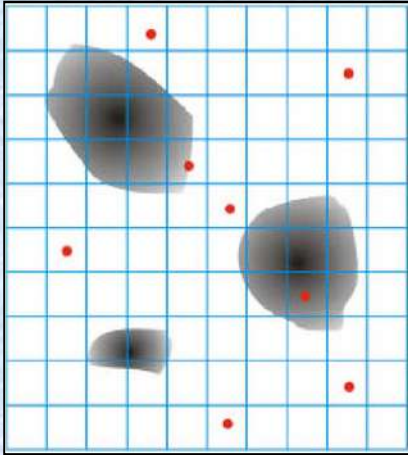


**griglia
quadrata
centrata**

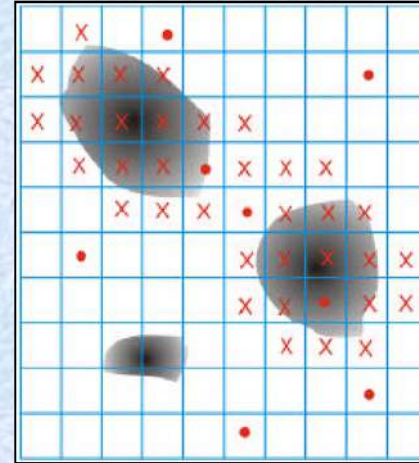


IL PdC, il Piano d'indagine

Campionamento *a cluster adattativo*

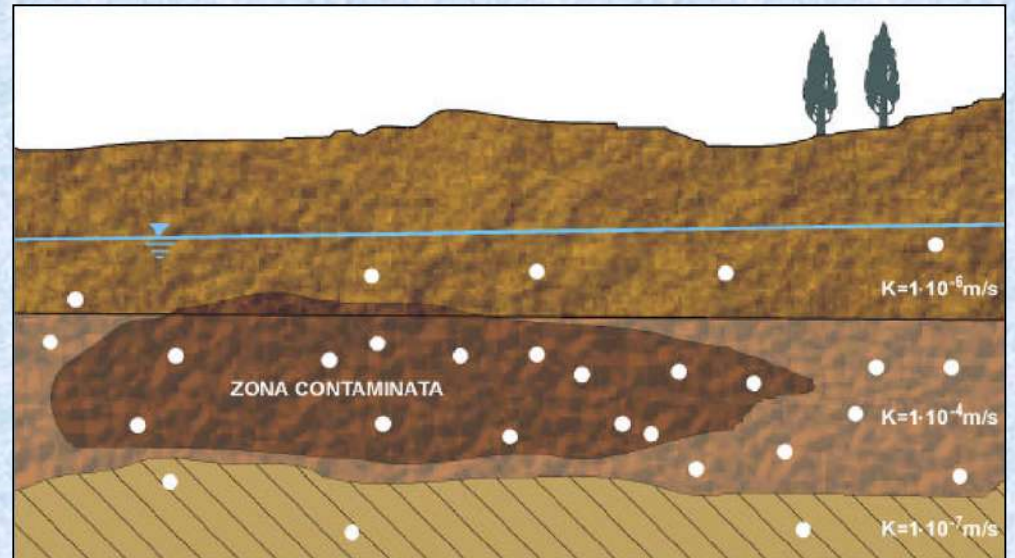


**Campionamento
iniziale**



**Distribuzione
finale**

Campionamento *stratificato*



IL PdC, l'Investigazione

SONDAGGI

- Carotaggio continuo a secco, a rotazione e bassa velocità o a rotopercussione
- Estrusione delle carote a secco
- Decontaminazione del carotiere



IL PdC, l'Investigazione

PIEZOMETRI (tubo aperto)

- Alesaggio del foro di sondaggio
- Completamento realizzato mediante tubi ciechi e tubi filtranti in PVC per uso alimentare
- Realizzazione, nell'intercapedine foro/tubo, di un manto drenante con ghiaino nel tratto filtrato e tappo bentonitico nel tratto cieco



IL PdC, l'Investigazione

Campionamento TERRENI



Formazione del campione per **analisi composti organici volatili**: Prelievo immediato e inserimento in una vial



Formazione del campione per **analisi composti non volatili**

- Prelievo del terreno con una paletta di acciaio e trasferimento su di un telo impermeabile
- Omogeneizzazione del campione
- Quartatura del campione e inserimento dello stesso all'interno di barattoli in vetro



IL PdC, l'Investigazione

Campionamento ACQUE DI FALDA

- Misura del livello statico e della effettiva profondità del piezometro
- Rilievo dell'eventuale presenza di sostanze non miscibili con l'acqua (surnatante e/o sottonatante)
- Inserimento della pompa e avvio delle operazioni di spurgo e campionamento con tecnica a basso flusso (low-flow) ($<5\text{l/m}$)
- Misurazione in continuo dei parametri chimico-fisici e prelievo dei campioni



Sonda interfaccia acqua/olio

Pompa basso flusso



IL PdC, l'Investigazione

Ausili per definire i punti d'indagine

Campionamento di gas interstiziali (VOCs e SVOCs)

Campionamento attivo:

viene condotto mediante l'introduzione di punte o di sistemi di monitoraggio (analoghi ai piezometri) all'interno del mezzo non saturo e la successiva estrazione dei gas interstiziali con pompe.

Campionamento passivo: basato sul flusso naturale del contaminante nel suolo verso il campionatore adsorbente.

Tale metodo costituisce una interessante tecnica di *screening* per valutare la presenza e l'estensione di una eventuale contaminazione associata a composti volatili nel sottosuolo.

IL PdC, l'Investigazione

Ausili per definire i punti d'indagine

**Attrezzatura
direct push
manuale**



Martello a
percussione
(elettrico o a
scoppio) tipo
Wacker®

Tubazione in
PVC

Batteria
di aste

IL PdC, l'Investigazione

Ausili per definire i punti d'indagine

Attrezzatura
direct push
Geoprobe®

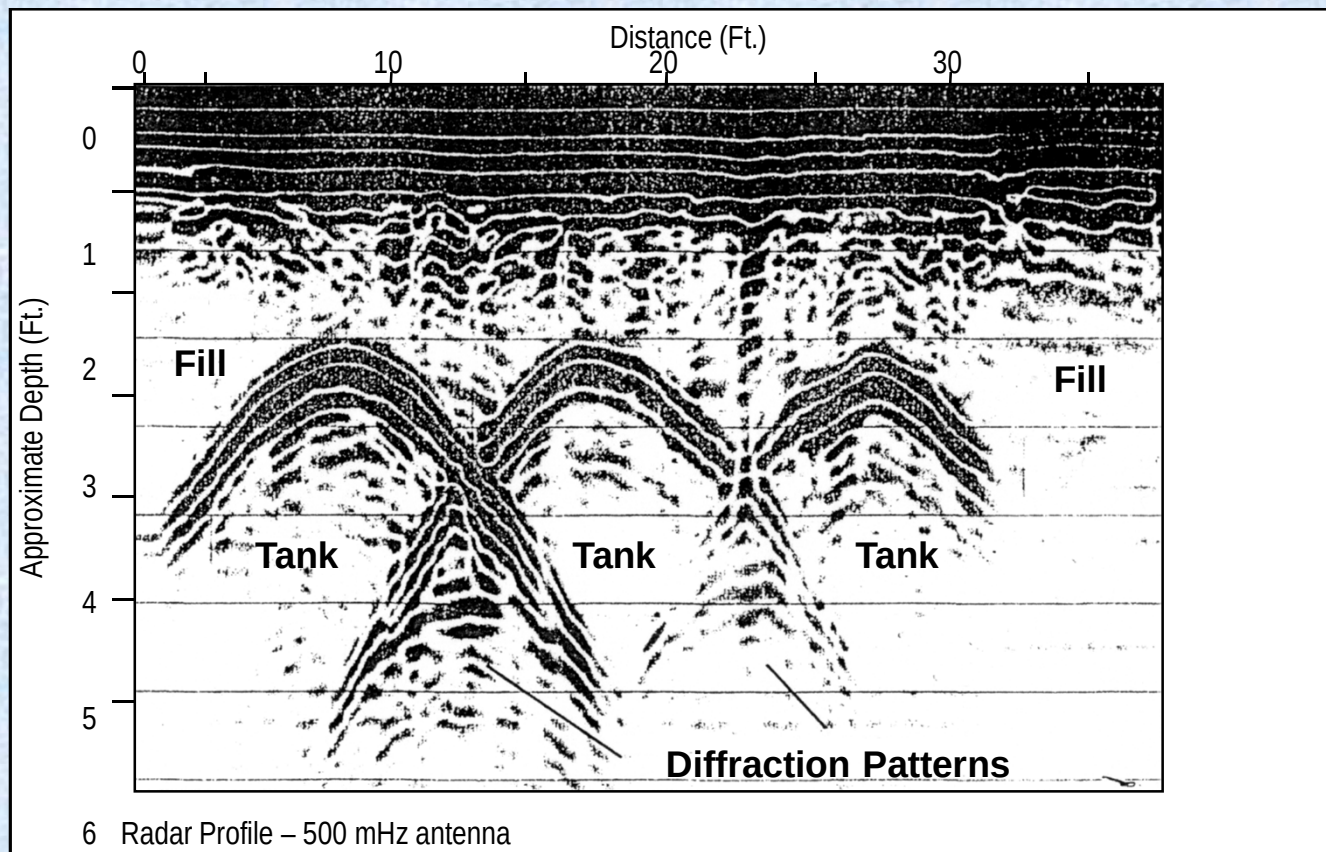
carotiere



IL PdC, l'Investigazione

Ausili per definire i punti d'indagine

Georadar GPR: profilo di cisterne sepolte



Risultati della caratterizzazione

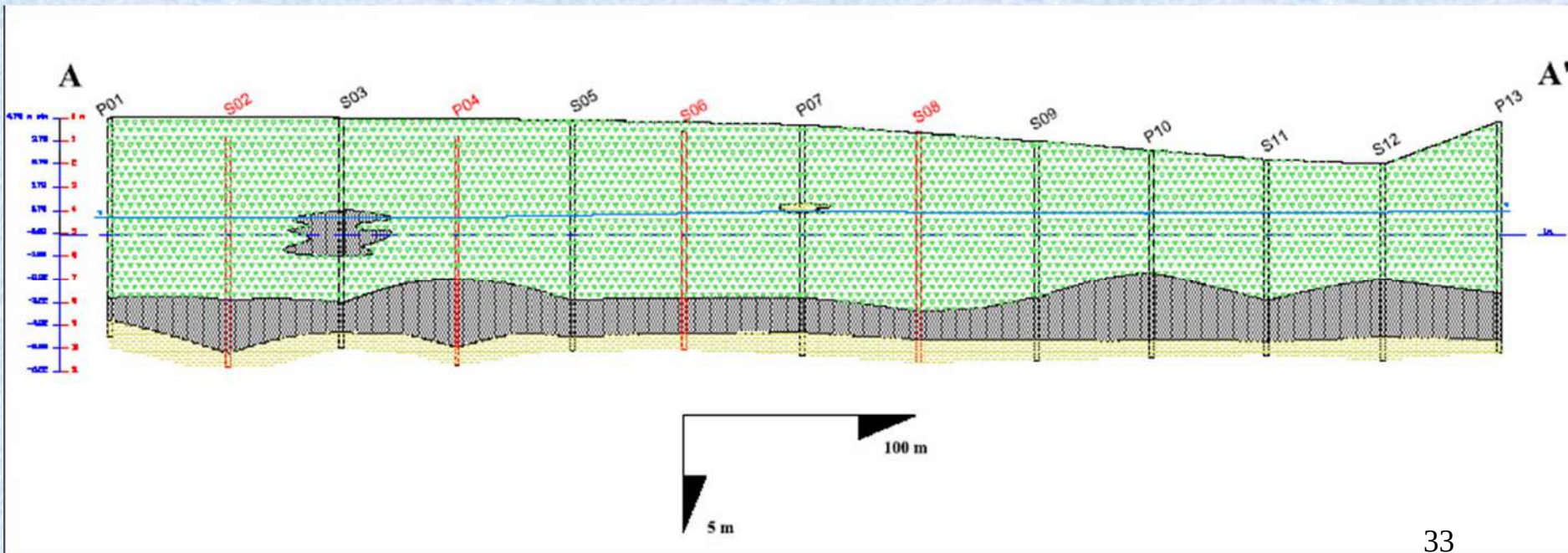
• Assetto stratigrafico locale

- Ghiaie da debolmente sabbiose a sabbiose sciolte
- Sabbie monometriche, sciolte e sature
- Argilla color grigio scuro, contenente gusci di gasteropodi, compatta e mediamente plastica

• Assetto idrogeologico

L'acquifero, permeabile per porosità, è costituito dalle ghiaie sabbiose e dalle sabbie monometriche

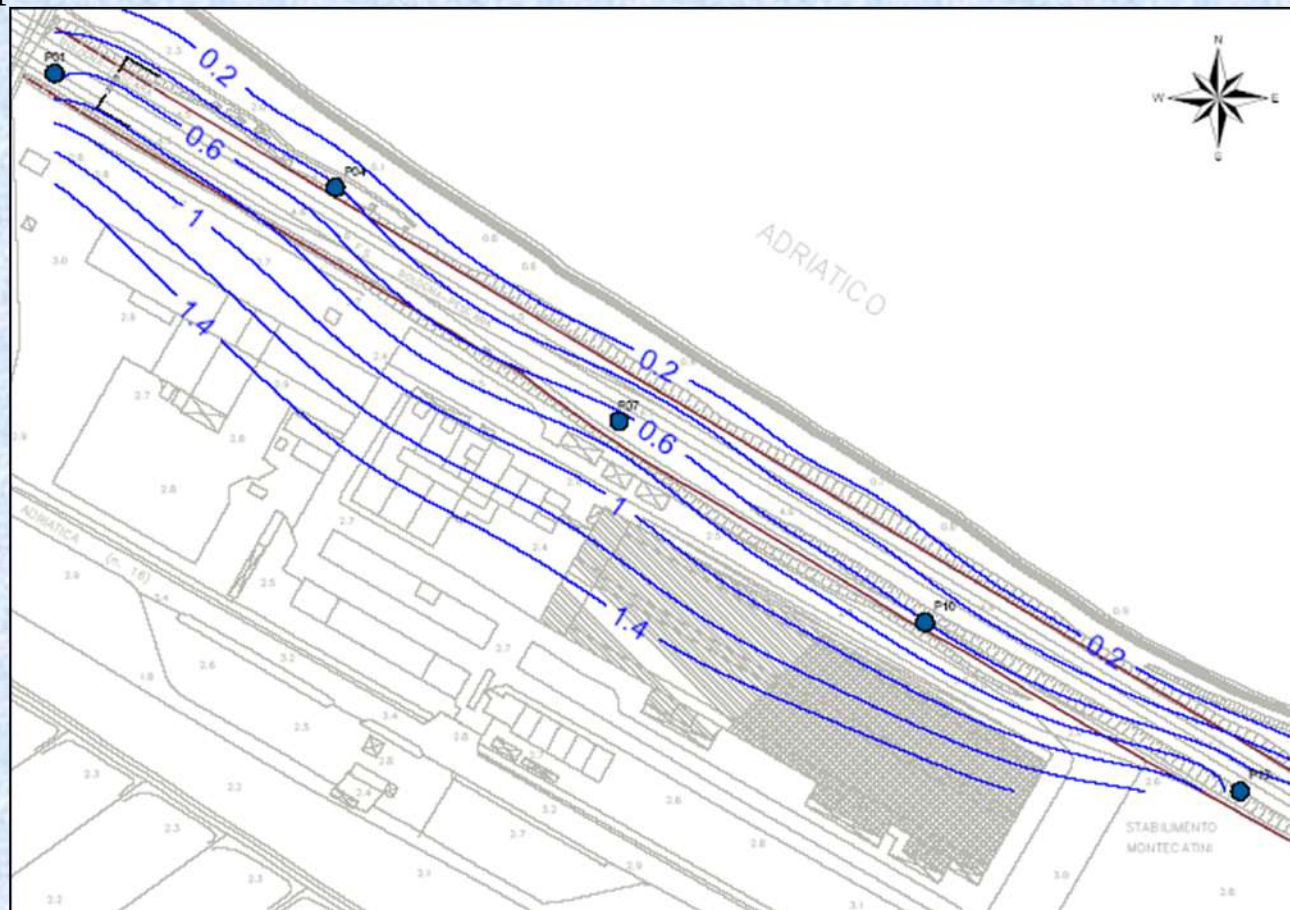
L'acquifero è sostenuto da un litotipo a bassa permeabilità rappresentato dalle argille grigio scure plioceniche



Risultati della caratterizzazione

Morfologia e deflusso della falda

L'acquifero descritto ospita una falda freatica, con un gradiente pari a 0,01 (10‰), che si distribuisce parallelamente alla linea di costa



Risultati della caratterizzazione

CONFRONTO DEI DATI ANALITICI CON LE Concentrazione di soglia di contaminazione (CSC)

Le CSC per le sostanze inquinanti presenti nel suolo, nel sottosuolo e nelle acque sotterranee, in relazione alla specifica destinazione d'uso del sito, nonché i criteri per la valutazione della qualità delle acque superficiali sono indicati nelle **tabelle 1** (terreni) e **2** (acque di falda) dell'Allegato 5 al Titolo V della Parta Quarta.

RIFERITI ALLA SPECIFICA DESTINAZIONE D'USO DEI SITI DA BONIFICARE				ACQUE SOTTERRANEE		
		A	B	N°. ord	SOSTANZE	Valore limite (μ l)
		Siti ad uso Verde pubblico, privato e residenziale (mg kg^{-1} espressi come ss)	Siti ad uso Commerciale e Industriale (mg kg^{-1} espressi come ss)	METALLI		
	<i>Composti inorganici</i>			1	Alluminio	200
1	Antimonio	10	30	2	Antimonio	5
2	Arsenico	20	50	3	Argento	10
3	Berillio	2	10	4	Arsenico	10
4	Cadmio	2	15	5	Berillio	4
5	Cobalto	20	250	6	Cadmio	5
6	Cromo totale	150	800	7	Cobalto	50
				8	Cromo totale	50
				9	Cromo (VI)	5
				10	Ferro	200

Risultati della caratterizzazione

Qualità dei terreni: Ricontrate n.4 eccedenze per l'**Arsenico** in aree ad uso industriale

PARAMETRO	Metodologia	U.M.	D.Lgs 152/06 all.5, tab.1	P01 (4,3-4,5)	S03 (4,2-4,4)	S05 (0,6-0,8)	S05 (4,2-4,4)
DATA PRELIEVO:	-	-	-	24/04/2007	26/04/2007	27/04/2007	27/04/2007
PROFONDITA' DI CAMPIONAMENTO	-	m	-	4,3 - 4,5	4,2 - 4,4	0,6 - 0,8	4,2 - 4,4
	-	-	-	-	-	-	-
SCELETRO	DM 13/09/99 GU N° 248 21/10/99 ALL II PARTE 1	% p/p	-	60,8	54,3	49,6	41,0
UMIDITA'	DM 13/09/1999 GU N° 248 21/10/1999 ALL II PARTE 2	% p/p	-	8,0	11,5	3,7	10,1
FLUORURI	EPA 300.0 1993	mg/kg(su s.s.)	2000	195	190	< 10	160
ARSENICO	EPA 7062 1994	mg/kg(su s.s.)	50	410,0	630,0	55,0	84,0
CADMIO	DM 13/09/1999 GU N°248 21/10/1999 MET.XI.1	mg/kg(su s.s.)	15	0,5	0,4	2,6	0,3
COBALTO	DM 13/09/1999 GU N°248 21/10/1999 MET.XI.1	mg/kg(su s.s.)	250	3,7	7,5	17,0	3,1
CROMO ESAVALENTE	CNR IRSA 16 Q 64 VOL 3 1986	mg/kg(su s.s.)	15	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
CROMO TOTALE	DM 13/09/1999 GU N°248 21/10/1999 MET.XI.1	mg/kg(su s.s.)	800	8,4	29,0	29,0	14,3
FERRO	DM 13/09/1999 GU N°248 21/10/1999 MET.XI.1	mg/kg(su s.s.)	-	6.500	16.300	69.000	6.500
MANGANESE	DM 13/09/1999 GU N°248 21/10/1999 MET.XI.1	mg/kg(su s.s.)	-	400,0	1.310	420,0	410,0
MERCURIO	EPA 3050 B 1996 + EPA 7471 B 1998	mg/kg(su s.s.)	5	0,60	1,30	< 0,1	1,7
NICHEL	DM 13/09/1999 GU N°248 21/10/1999 MET.XI.1	mg/kg(su s.s.)	500	7,5	23,0	10,2	9,5
PIOMBO	DM 13/09/1999 GU N°248 21/10/1999 MET.XI.1	mg/kg(su s.s.)	1000	4,7	17,0	220,0	5,7
ZINCO	DM 13/09/1999 GU N°248 21/10/1999 MET.XI.1	mg/kg(su s.s.)	1500	116,0	171,0	270,0	30,0
RAME	DM 13/09/1999 GU N°248 21/10/1999 MET.XI.1	mg/kg(su s.s.)	600	35,0	48,0	220,0	14,2
COMPONENTI ORGANOCALOGENATI	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	-(-)	-	-	-	-	-
COMPONENTI ALIFATICI CLORURATI CANCEROGENI	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	-(-)	-	-	-	-	-
CLOROMETANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	5	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
DICLOROMETANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	5	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
CLOROFORMIO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	5	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
CLORURO DI VINILE	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	0,1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,2-DICLOROETANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	5	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,1-DICLOROETILENE	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,2-DICLOROPROPANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	5	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,1,2-TRICLOROETANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	15	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
TRICLOROETILENE	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,2,3-TRICLOROPROPANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	1	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,1,2,2-TETRACLOROETANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	10	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
TETRACLOROETILENE	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	20	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
ESACLOROBUTADIENE	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	-	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
COMPONENTI ALIFATICI CLORURATI NON CANCEROGENI	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	-(-)	-	-	-	-	-
1,1-DICLOROETANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	30	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,2-DICLOROETILENE	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	15	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
1,1,1-TRICLOROETANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	mg/kg(su s.s.)	50	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
IDROCARBURI < C12	EPA 5021 1996 + EPA 8015 D 2003	mg/kg(su s.s.)	250	< 5	< 5	< 5	
IDROCARBURI > C12	ISO TR 11046:1994 MET B	mg/kg(su s.s.)	750	< 5	< 5	< 5	

Risultati della caratterizzazione

Qualità delle acque di falda

Tabella 4 - Risultati analitici campioni di acqua

Parametro	Metodologia	U.M.	D.M.471/99: TABELLA ACQUE SOTTERRANEE	P01	P04	P07	P10	P13
Data prelievo	-	-	-	31/05/2007	31/05/2007	31/05/2007	31/05/2007	31/05/2007
Profondità di campionamento	-	-	-	5,5 m	5,5 m	5,5 m	5,5 m	5,5 m
	-	-	-	sul campione tal quale	sul campione tal quale	sul campione tal quale	sul campione tal quale	sul campione tal quale
ANIONI	-	-	-	-	-	-	-	-
FLUORURI	EPA 500.1 1997	µg/l	1500	1.000	400	4.700	1.100	200
NITRITI	APAT CNR IRSA 4050 MAN 29 2003	µg/l (come NO ₂)	500	140	100	120	40	30
SOLFATI	EPA 500.1 1997	mg/l (come SO ₄)	250	340	101	270	195	115
METALLI	-	-	-	-	-	-	-	-
ANTIMONIO	EPA 200.8 1994	µg/l (come Sb)	5	0,9	0,40	0,7	0,30	< 0,2
ARSENICO	EPA 200.8 1994	µg/l (come As)	10	3,4	1,5	3,1	2,4	< 0,1
CADMIO	EPA 200.8 1994	µg/l (come Cd)	5	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
CROMO	EPA 200.8 1994	µg/l (come Cr)	50	7,7	5,4	1,7	6,1	0,20
CROMO ESAVALENTE	APAT CNR IRSA 3150 B2 MAN 29 2003	µg/l (come Cr)	5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
FERRO	EPA 6010 C 2000	µg/l (come Fe)	200	3.100	2.800	1.210	2.200	340
MANGANESE	EPA 200.8 1994	µg/l (come Mn)	50	490	260	410	300	300
MERCURIO	EPA 200.8 1994	µg/l (come Hg)	1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1
NICHEL	EPA 200.8 1994	µg/l (come Ni)	20	21	12,4	16,7	7,7	4,5
PIOMBO	EPA 200.8 1994	µg/l (come Pb)	10	25	51	33	51	5,8
SELENIO	EPA 200.8 1994	µg/l (come Se)	10	8,0	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
ZINCO	EPA 200.8 1994	µg/l (come Zn)	3000	65	12,0	2,0	68	5,5
RAME	EPA 200.8 1994	µg/l (come Cu)	1000	6,3	7,2	1,5	3,6	1,10
COMPOSTI AROMATICI	EPA 5030 B 1996 + EPA 8260 B 1996	-(-)	-	-	-	-	-	-
BENZENE	EPA 5030 B 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	1	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
ETILBENZENE	EPA 5030 B 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	50	0,30	0,33	0,29	< 0,03	< 0,03
STIRENE	EPA 5030 B 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	25	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2
TOLUENE	EPA 5030 B 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	15	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08
p-XILENE	EPA 5030 B 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	10	0,10	0,10	0,09	< 0,06	< 0,06
IDROCARBURI TOTALI (come n-esano)	EPA 5021 1996 + EPA 3510 C 1996 + EPA 8015 D 2003	µg/l	350	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
COMPOSTI ORGANOCLOGENATI	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	-(-)	-	-	-	-	-	-
COMPOSTI ALIFATICI CLORURATI CANC.	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	-(-)	-	-	-	-	-	-
CLOROMETANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	1,5	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
CLOROFORMIO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	0,15	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
CLORURO DI VINILE	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	0,5	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04	< 0,04
1,2-DICLOROETANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	3	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
1,1-DICLOROETILENE	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	0,05	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
1,2-DICLOROPROPANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	0,15	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02
1,1,2-TRICLOROETANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	0,2	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08	< 0,08
TRICLOROETILENE	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	1,5	0,18	0,26	0,13	< 0,02	0,10
1,2,3-TRICLOROPROPANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001
1,1,2,2-TETRACLOROETANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	0,05	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03
TETRACLOROETILENE	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	1,1	0,98	2,26	0,50	< 0,05	1,44
ESACLOROBUTADIENE	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	0,15	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
COMPOSTI ALIFATICI CLORURATI CANC. TOT.	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	10	1,16	2,52	< 1	< 1	< 1
COMPOSTI ALIFATICI CLORURATI NON CANC.	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	-(-)	-	-	-	-	-	-
1,1-DICLOROETANO	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	810	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2-DICLOROETILENE	EPA 5021 1996 + EPA 8260 B 1996	µg/l	60	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06	< 0,06

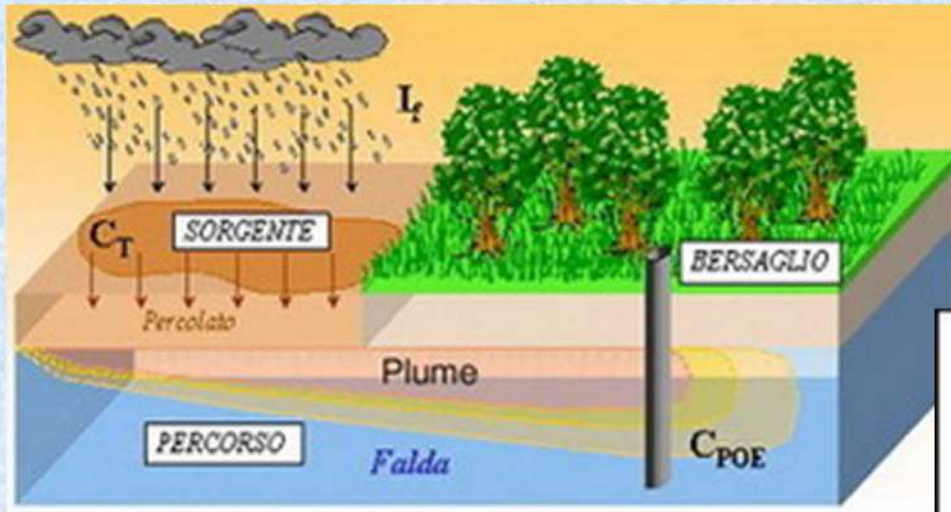
Tramite i dati della caratterizzazione è possibile definire il Modello Concettuale Definitivo

- **sorgenti**, grado ed estensione della contaminazione del suolo, del sottosuolo, delle acque superficiali e sotterranee del sito;
- **percorsi di migrazione** dalle sorgenti di contaminazione ai bersagli ambientali e alla popolazione (acque sotterranee, superficiali, aria);
- **vie di esposizione** (inalazione, ingestione, contatto dermico);
- **bersagli** ambientali e la popolazione su cui possono manifestarsi gli effetti dell'inquinamento.

Analisi di Rischio - AdR

Se con la caratterizzazione sono state rilevate nelle matrici indagate sostanze con concentrazioni superiori alle CSC il sito è definito “*potenzialmente contaminato*” → eseguo AdR secondo metodiche standard per valutare lo stato qualitativo effettivo e il livello di rischio dei potenziali recettori

Analisi di Rischio - AdR



Esempio di modello concettuale.

E = Assunzione cronica giornaliera di un contaminante

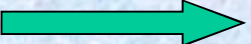
T = Tossicità del contaminante



Analisi di Rischio - AdR

- **Selezione dei contaminanti indice (COC)**: oltre le CSC
- **Sorgenti**: geometria
- **Vie di esposizione**: suolo superficiale, suolo profondo, aria outdoor, aria indoor.
- **Modalità di esposizione**: ingestione, contatto dermico, inalazione.
- **Recettori o bersagli della contaminazione**: persone on-site o off-site; residenti o lavoratori.
- **Punto di conformità**: limite della proprietà.

Analisi di Rischio - AdR

C'è rischio solamente se sussistono tre condizioni: una sorgente di contaminazione, un percorso di esposizione ed un recettore. Se viene a mancare una di queste non esiste il rischio  bisogna eliminare la sorgente o interrompere il percorso di esposizione!

Valore di rischio incrementale accettabile:

- per le sostanze cancerogene = $1 \cdot 10^{-6}$;
- per le sostanze non cancerogene = 1

Le concentrazioni rilevate eccedono le CSR?:

NO  il sito non è contaminato, eseguo il monitoraggio;
Sì  il sito è contaminato, bonifico o metto in sicurezza.

Analisi di Rischio - AdR

Schema di flusso sorgente → recettore

SORGENTE PRIMARIA (*)	SORGENTE SECONDARIA	PERCORSO DI MIGRAZIONE	VIA DI ESPOSIZIONE	POTENZIALI RICETTORI	PERCORSO COMPLETO?
☒ SERBATOI INTERRATI ☒ TUBAZIONI DI DISTRIB. ☐ OPERAZIONI DI CARICO ☐ GESTIONE DI RIFIUTI ☐ ALTRO	☐ Terreno superficiale (< 60 cm p.c.)	☐ Corrasione eolica e dispersione in atmosfera	☐ TERRENO Contatto epidermico Ingestione	Bersagli esposti In-sito: ☐ Residenti ☐ Non-Resid. ☒ N/D ☐ Ambiente ☐ Ricreativo Fuori-sito: ☐ Residenti ☐ Non-Resid. ☒ N/D ☐ Ambiente ☐ Ricreativo ☐ protetto	☒ NO ☐ SI { ☐ REALE ☐ POT.
	☒ Terreno profondo (> 60 cm p.c.)	☒ Volatilizzazione e dispersione in atmosfera	☒ ATMOSFERA Inalazione di polveri o vapori	Bersagli esposti In-sito: ☐ Residenti ☒ Non-Resid. ☐ N/D Fuori-sito: ☐ Residenti ☐ Non-Resid. ☒ N/D	☐ NO ☒ SI { ☐ REALE ☒ POT.
	☒ In soluzione nell'acqua sotterranea	☒ Volatilizzazione ed accumulo in spazi confinati		Bersagli esposti In-sito: ☐ Residenti ☒ Non-Resid. ☐ N/D Fuori-sito: ☐ Residenti ☐ Non-Resid. ☒ N/D	☒ NO ☐ SI { ☐ REALE ☐ POT.
	☐ Prodotto in fase libera	☒ Percolazione e trasporto in soluzione (Acque sott.)	☒ ACQUE SOTT. Uso non potabile	Utilizzatori delle acque sotterranee In-sito: ☐ Residenti ☒ Non-Resid. ☐ N/D Fuori-sito: ☐ Residenti ☐ Non-Resid. ☒ N/D	☐ NO ☒ SI { ☐ REALE ☒ POT.
	☐ Acque superficiali	☐ Migrazione di prodotto in fase libera		Utilizzatori delle acque superficiali In-sito: ☐ Residenti ☐ Non-Resid. ☒ N/D ☐ Ambiente ☐ Ricreativo ☐ protetto Fuori-sito: ☐ Residenti ☐ Non-Resid. ☒ N/D ☐ Ambiente ☐ Ricreativo ☐ protetto	☒ NO ☐ SI { ☐ REALE ☐ POT.
	☐ Acque meteoriche e/o superficiali	☐ Acque meteoriche e/o superficiali	☐ ACQUE SUPERF. Usi ricreazionali e/o ambienti protetti	Utilizzatori delle acque superficiali In-sito: ☐ Residenti ☐ Non-Resid. ☒ N/D ☐ Ambiente ☐ Ricreativo ☐ protetto Fuori-sito: ☐ Residenti ☐ Non-Resid. ☒ N/D ☐ Ambiente ☐ Ricreativo ☐ protetto	☒ NO ☐ SI { ☐ REALE ☐ POT.

N/D = NON DISPONIBILE; (X) CASELLA SELEZIONATA
 N.B. : I PERCORSI COMPLETI SONO SUDDIVISI TRA POTENZIALI (POT.) E REALI

Progetto Preliminare di Bonifica

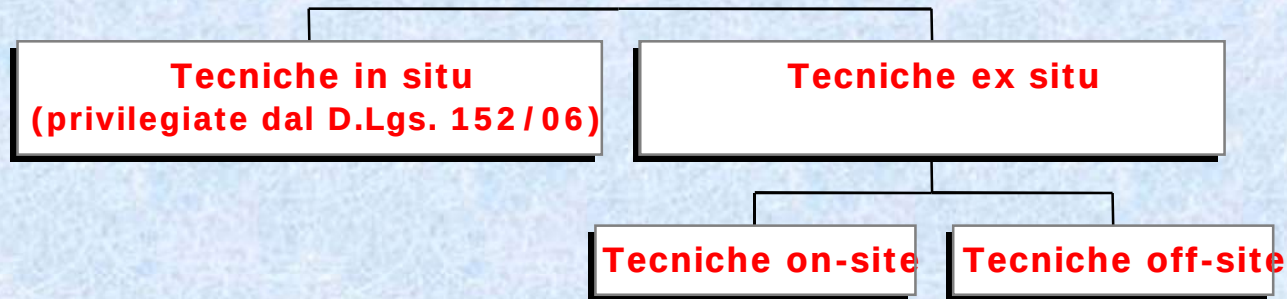
Struttura tipo

1. **Analisi dei livelli di inquinamento.**
2. **Eventuale investigazione di dettaglio** (p.es. esatta identificazione, perimetrazione, della sorgente).
3. **Adozione delle CSR (obiettivo) definite con l'analisi di rischio.**
4. **Analisi delle possibili tecnologie adottabili per la bonifica o la messa in sicurezza del sito.**
5. **Descrizione** delle tecnologie di bonifica scelte.
6. **Eventuale test pilota on-site** per la verifica tecnologie scelte.
7. **Compatibilità ambientale** degli interventi.
8. **Piano di monitoraggio** attivo anche *post operam*.
9. **Confronto dei costi** di realizzazione delle diverse tipologie.

Progetto Preliminare di Bonifica

Metodologie e tecniche di bonifica

Classificazione in base all'ubicazione del trattamento



Tecniche in situ: terreni e acque vengono trattati direttamente sul posto, senza escavazioni o pompaggi.

Tecniche ex situ: terreni e acque vengono rimossi; le matrici ambientali possono essere trattate con impianti mobili in loco (**trattamenti on-site**) oppure in impianti fissi ubicati esternamente alla zona contaminata (**trattamenti off-site**). Il terreno trattato può essere riposto nel luogo di provenienza.

Progetto Preliminare di Bonifica



Rimozione e smaltimento

Non è un vero intervento di bonifica perché è un metodo "dig & dump"



Progetto Preliminare di Bonifica

Metodologie e tecniche di bonifica

Classificazione in base sulle proprietà dei contaminanti

- **Tecnologie basate sulla distruzione o sull'alterazione dei composti inquinanti:** trattamenti biologici o fisici basati sulla modifica della struttura chimica degli inquinanti (applicabili *in situ* o *ex situ*).
- **Tecnologie basate sull'estrazione dei composti inquinanti dall'ambiente:** trattamenti che sfruttano alcune proprietà fisico-chimiche degli inquinanti, realizzando processi di trasporto che ne permettono la separazione dalle matrici ambientali contaminate (applicabili *in situ* o *ex situ*).
- **Tecnologie basate sul contenimento o l'immobilizzazione degli inquinanti nell'ambiente** (applicabili *in situ*).
- **Mix di tra più tecnologie** per trattamenti misti.

Progetto Preliminare di Bonifica

Trattamenti biologici nei terreni

Sfruttano i microorganismi presenti nei terreni:

batteri, funghi, attinomiceti, alghe o protozoi.

- Aerobici
- Anaerobici
- anaerobici facoltativi

Parametri utilizzati per la valutazione dell'applicabilità di una tecnica di risanamento biologica.

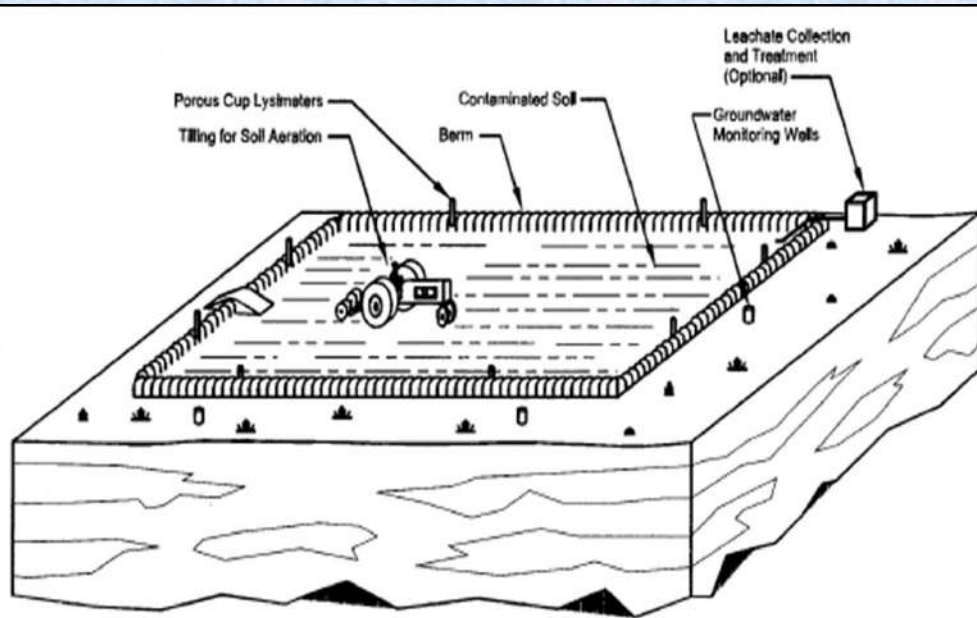
Caratteristiche del terreno	Caratteristiche dei contaminanti	Condizioni climatiche
Densità della popolazione microbica	Volatilità	Temperatura ambiente
pH del terreno	Struttura chimica	Piovosità
Contenuto idrico	Concentrazione e tossicità	Vento
Temperatura del terreno		
Concentrazione dei nutrienti		
Tessitura del terreno		

Biodegradabilità	Composti campione	Prodotti in cui si trovano i composti
Più degradabile  Meno degradabile	n-butano, l-pentano	Benzina
	n-ottano	
	Nonano	Gasolio
	Metil butano	Benzina
	Dimetilpentene	
	Metilottano	
	BTEX	Benzina
	Propilbenzene	Gasolio, cherosene
	Decani	Gasolio
	Dodecani	Cherosene
	Tridecani	Combustibili per il riscaldamento
	Tatradecani	Oli lubrificanti
	Naftaline	Gasolio
	Fluoranteni	Cherosene
	Pireni	Oli per riscaldamento
	Acenafteni	Oli lubrificanti

Progetto Preliminare di Bonifica

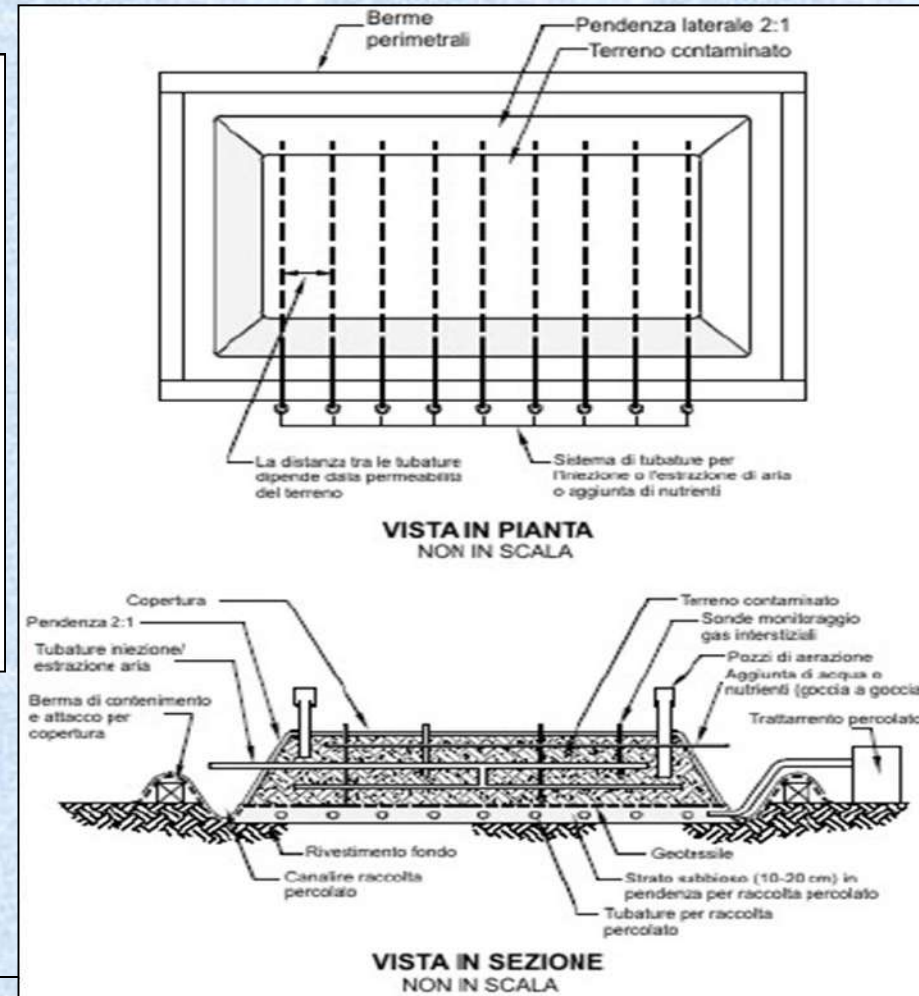
Trattamenti biologici nei terreni

Landfarming



Principale differenza:
metodo di ossigenazione

Biopila



Progetto Preliminare Messa in Sicurezza Permanente

Contenimento fisico falda

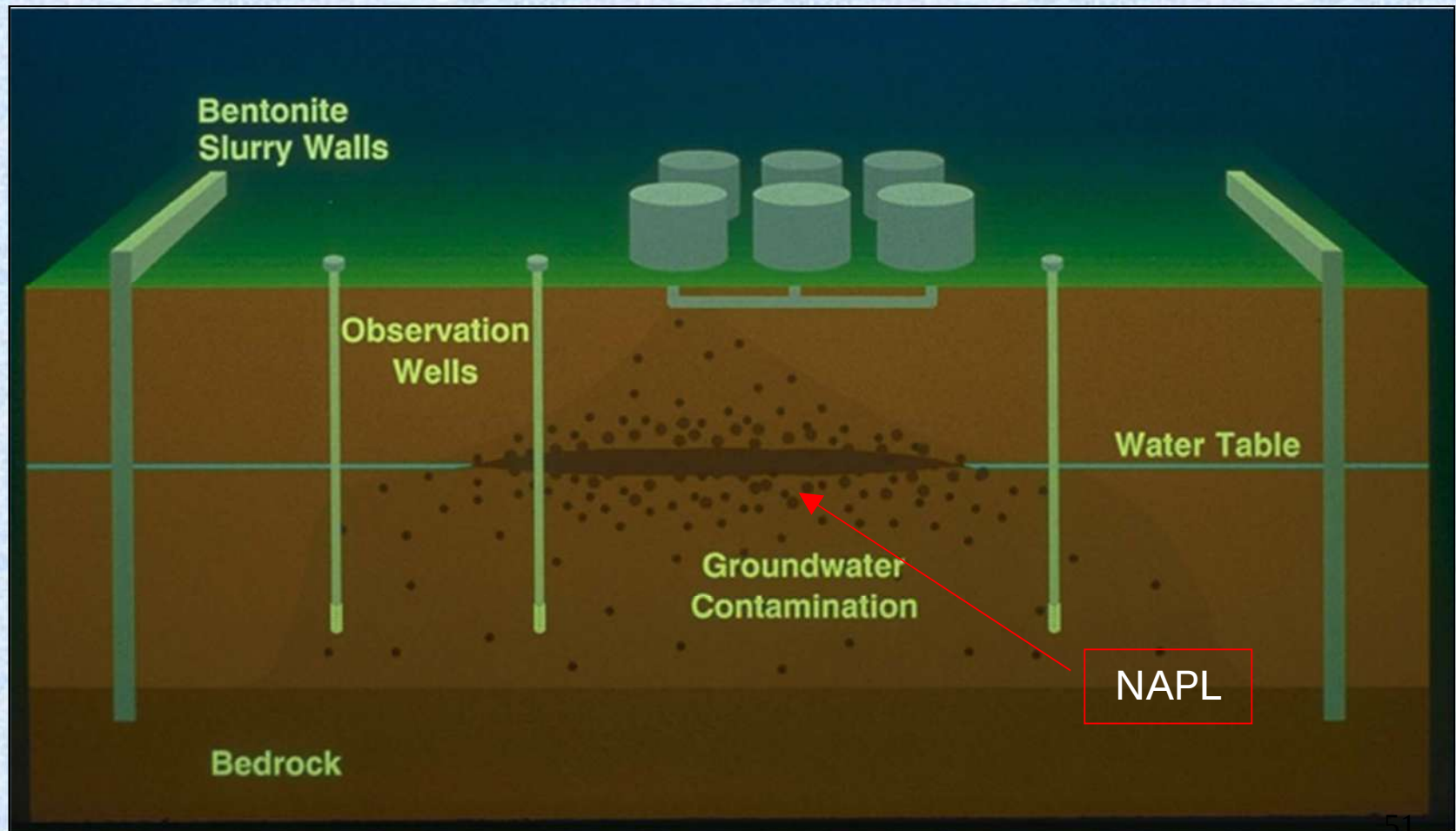
Ottenuto realizzando barriere impermeabili $K \cong 10^{-11}$ m / s

Spesso ancorati ad un acquiclude di base e/o ad una copertura superficiale (**capping**) con pozzi di estrazione.

Non rimuove la sorgente di contaminazione.

Progetto Preliminare Messa in Sicurezza Permanente

Contenimento fisico falda



Progetto Preliminare di Bonifica

Pump & Treat

Utilizzabile in Bonifica o per messa in sicurezza, con Pompaggio e Trattamento delle acque di falda

- 1. messa in sicurezza:** realizzazione di pozzi per il pompaggio di acqua contaminata per il contenimento di contaminate e **sorgente difficili da rimuovere;**
- 2. bonifica:** realizzazione di pozzi per il pompaggio di acqua contaminata fino a **totale rimozione dell'inquinante.**

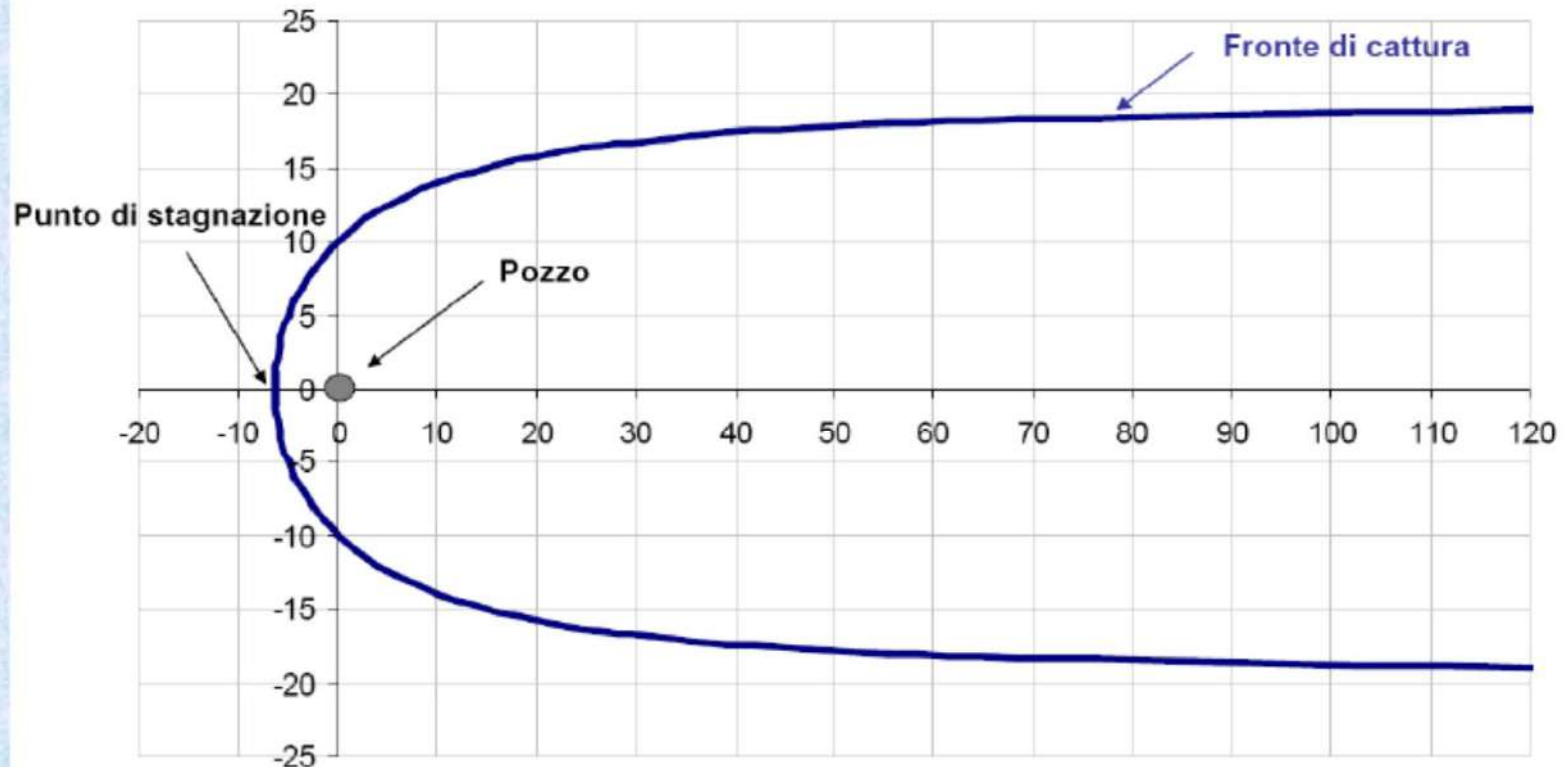
Occorre definire:

- Caratteristiche idrogeologiche di dettaglio
- Estensione dell'area contaminata oggetto del barrieramento
- Ubicazione eventuali recettori da preservare
- Raggio e area d'influenza, punto di stagnazione.

Progetto Preliminare di Bonifica

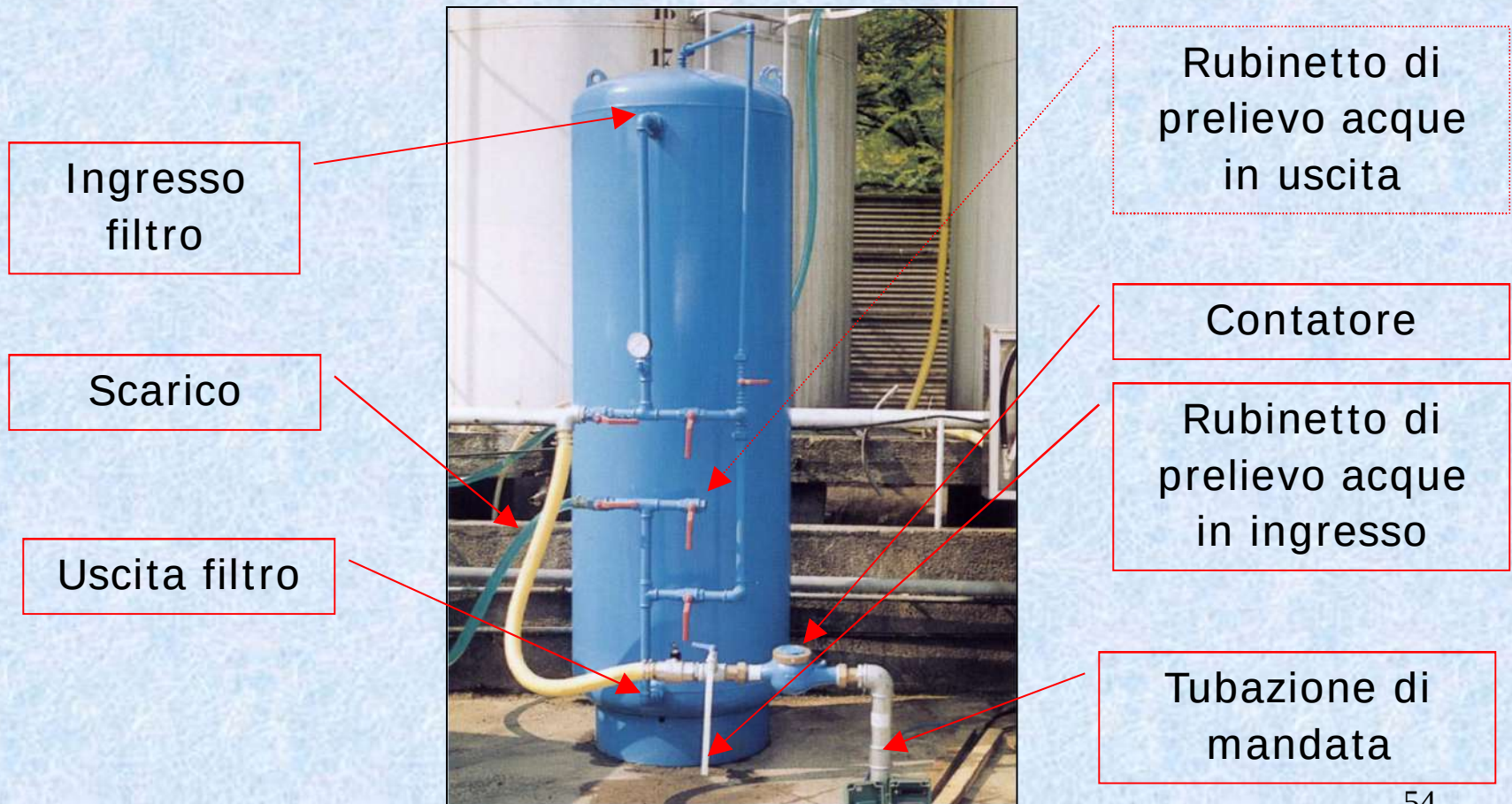
Pump & Treat

Andamento del fronte di cattura di un pozzo

 $Q = 20000 \text{ m}^3/\text{giorno}$ $b = 100 \text{ m}$ $K = 1000 \text{ m/giorno}$ $i = 0.005$

Progetto Preliminare di Bonifica

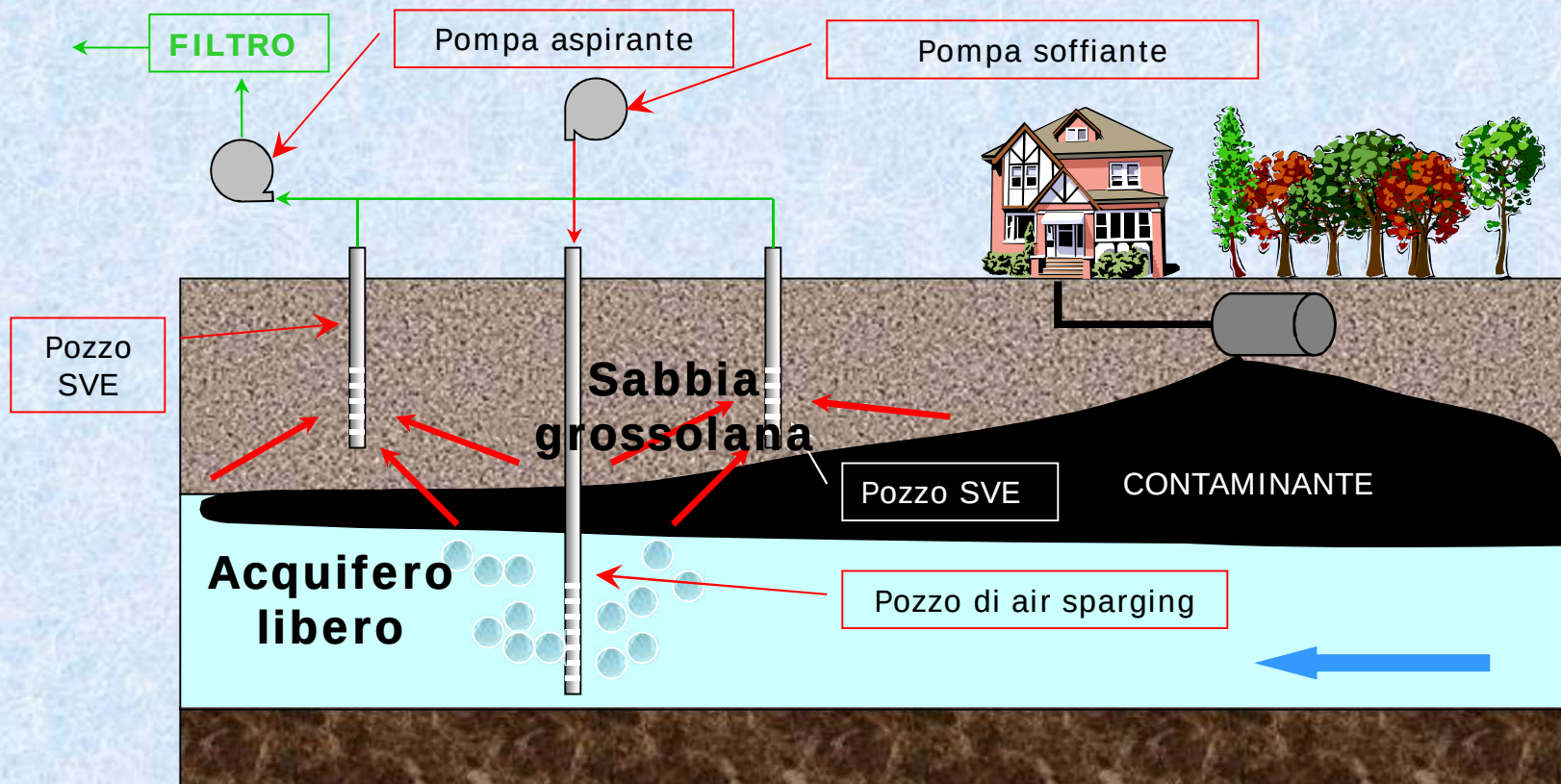
Pump & Treat



Progetto Preliminare di Bonifica

Air sparging, Bioventing, Air Stripping

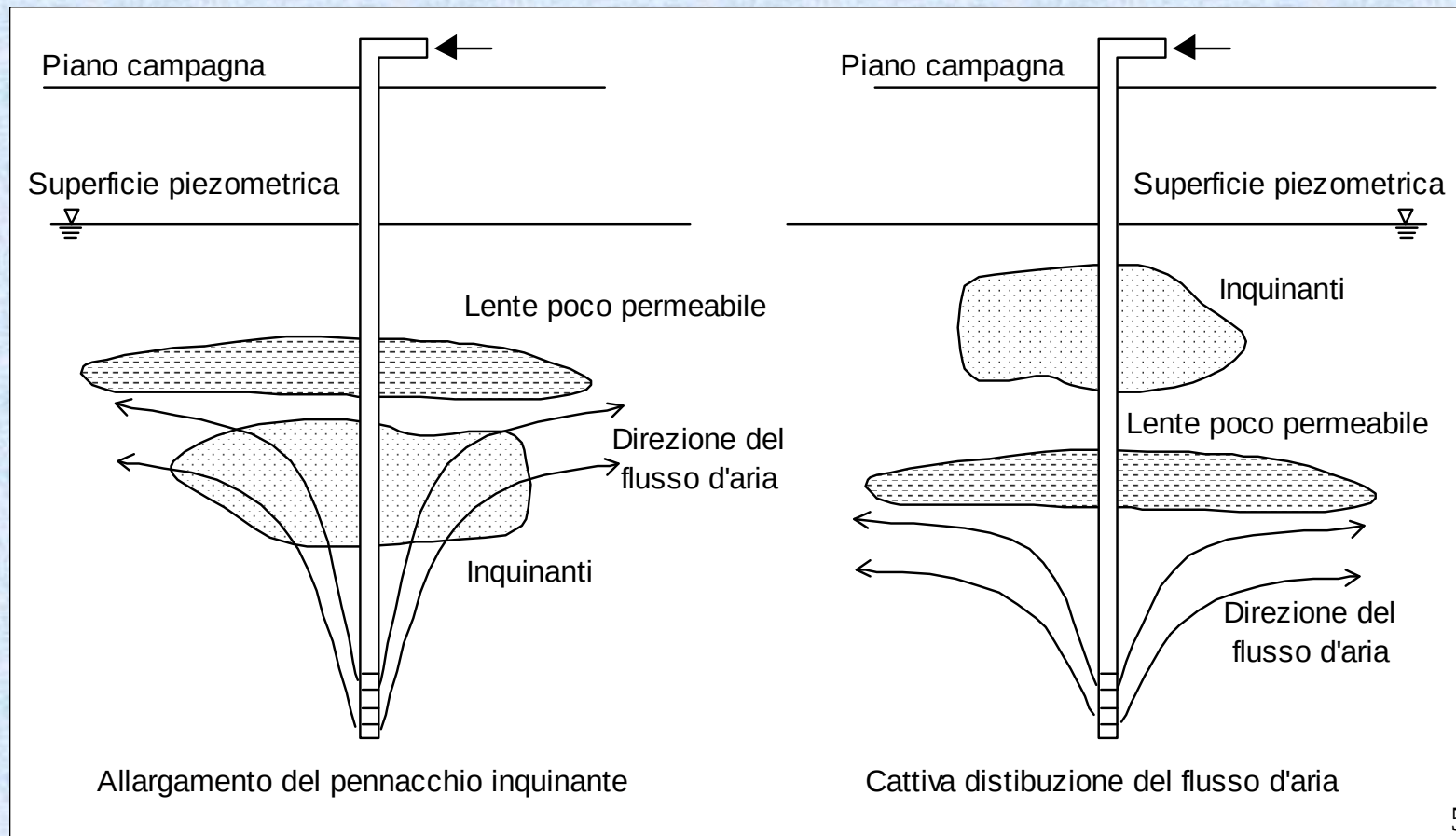
Immissione “aria” nella porzione satura (air stripping) e/o insatura (air sparging), immediatamente al di sotto del tratto contaminato. L’aria risale arricchendosi di composti volatili e semivolatili disciolti e li trasporta verso la superficie. Molto spesso abbinati a sistema di estrazione vapori (Soil Vapor Extraction) dalla porzione insatura.



Progetto Preliminare di Bonifica

Air sparging

Sono determinanti le caratteristiche geologiche del mezzo



Progetto Preliminare di Bonifica **In Situ Chemical Oxidation (ISCO)**

Iniezione nel saturo di:

- ***Perossido di idrogeno*** H_2O_2
- ***Permanganato di potassio*** KMnO_4
- ***Persolfato di sodio*** $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_8$

IV sezione

IL PROGETTO PRELIMINARE DI BONIFICA

Metodologie e tecniche di bonifica tecniche innovative

Barriera permeabile reattiva (PRB)

Diaframma chimicamente reattivo posto all'interno dell'acquifero, **ortogonale alla direzione di deflusso**. Il materiale reattivo viene posto all'interno di trincee e produce la degradazione, la trasformazione, la precipitazione o l'adsorbimento del contaminante.

Le due **configurazioni** più utilizzate sono:

- a **trincea continua**;
- sistema **Funnel & Gate™**, costituito da una barriera impermeabile a forma di imbuto (Funnel) e una zona di trattamento permeabile (Gate).

IV sezione IL PROGETTO PRELIMINARE DI BONIFICA

Metodologie e tecniche di bonifica tecniche innovative

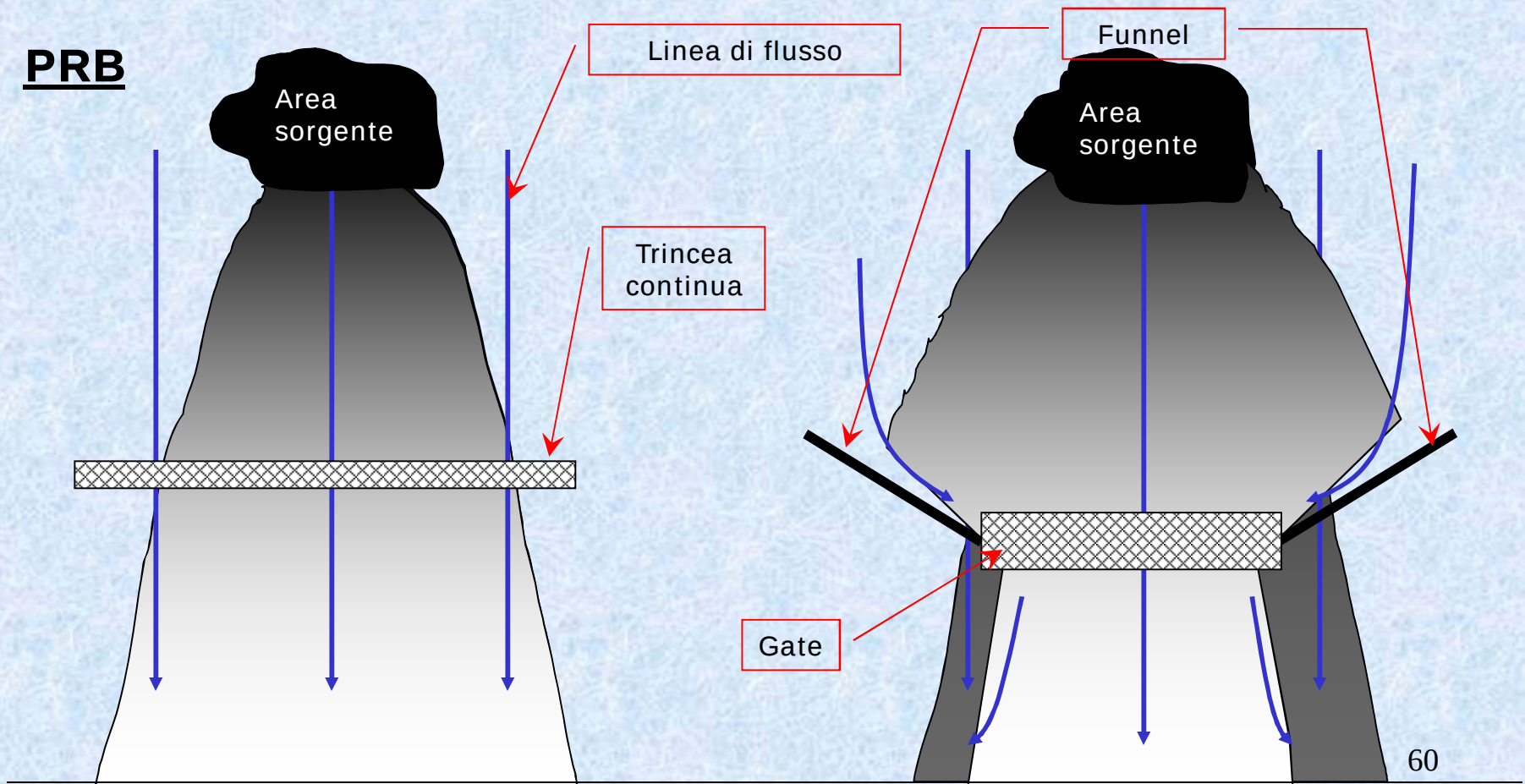
Barriera permeabile reattiva (PRB)

I **reagenti** più spesso **impiegati** nella realizzazione delle *Barriere reattive* sono, in funzione del loro principio di funzionamento:

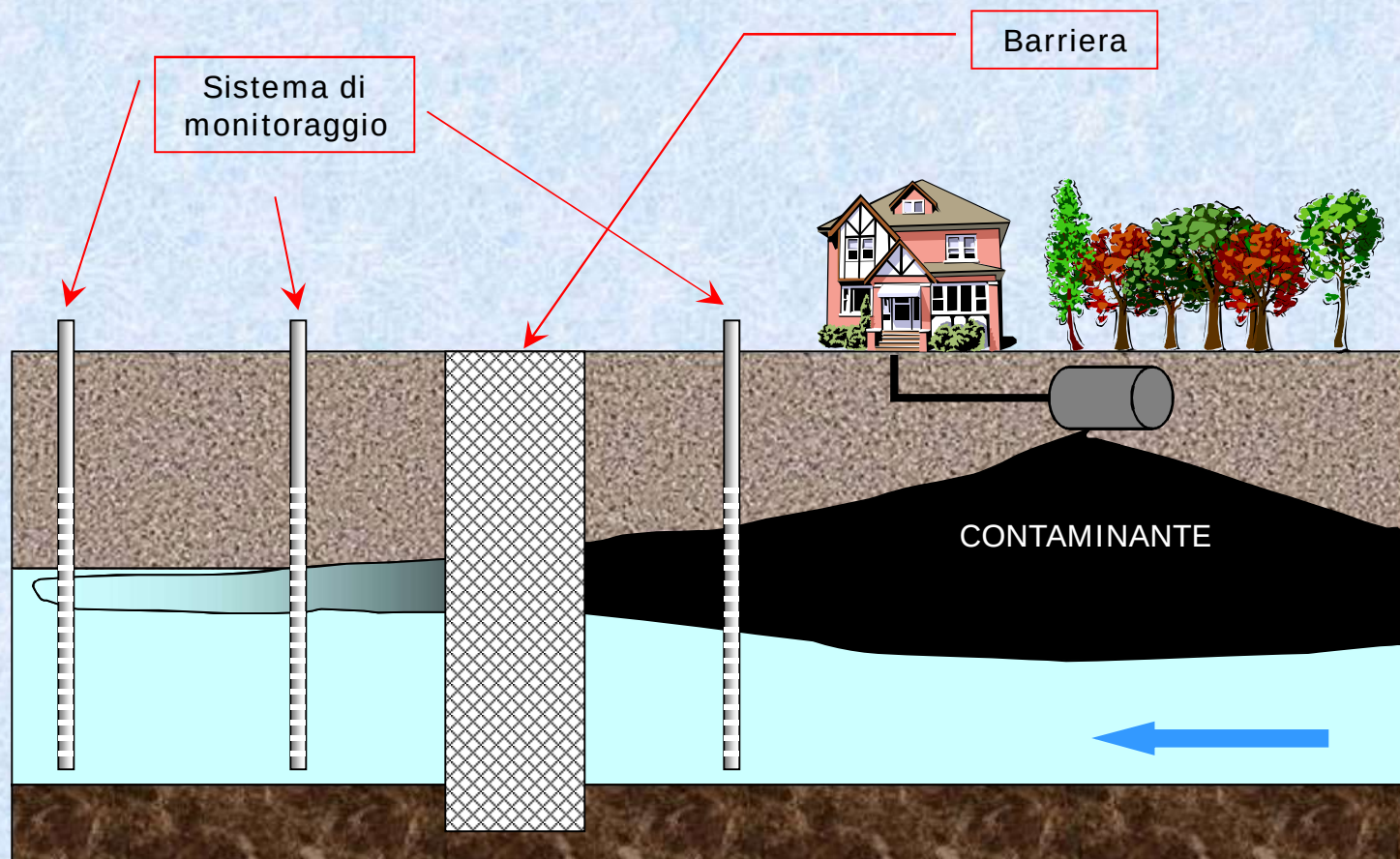
- **Adsorbimento**: carboni attivi, resine e zeoliti
- **Precipitazione**: sali ferrosi, PO_4^{3-} , limo, ceneri, BaCl_2 , CaCl_2 e CaSO_4

Progetto Preliminare di Bonifica Barriere Permeabili Reattive (PRB)

Diaframma chimicamente reattivo ortogonale alla direzione di deflusso



Progetto Preliminare di Bonifica **Barriere Permeabili Reattive (PRB)**



Progetto Preliminare di Bonifica **Barriere Permeabili Reattive (PRB)**

FASE 1: scavo del *funnel*

**Trinceratrice a
riempimento continuo**



Benna mordente



Progetto Preliminare di Bonifica **Barriere Permeabili Reattive (PRB)**

FASE 2: costruzione del *gate*





GRAZIE PER LA CORTESE ATTENZIONE!!!
